

УДК 662.951.2

И. А. Замятина, Е. В. Киселев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ ANSYS

Аннотация

В работе представлено моделирование процесса горения газообразного топлива двух типов горелок: длиннопламенной и короткопламенной. Были определены геометрические характеристики и параметры работы горелок. Конструкции данных типов топливосжигающих устройств были построены в КОМПАС – 3D. Исследование процесса горения проводилось в программном пакете ANSYS CFX. Моделирование проводилось поэтапно. Построена геометрия твердотельного объекта в программной платформе DesignModeler. Выбрана расчетная сетка в сеточном генераторе Mesh. Заданы граничные условия и основные характеристики в CFX-Pre. Получено решение в виде графиков и вычислений на платформе CFX-Solver. Результаты расчетов представлены графически и отражают температурные и скоростные поля. В качестве топлива в данной задаче использовался природный газ, а в качестве окислителя воздух.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, горелка, ANSYS, горение, топливо, модуль.

Abstract

The paper presents the simulation of the combustion process of gaseous fuel of two types of burners: long-flame and short-flame. Geometric characteristics and parameters of the burners were determined. The designs of these types of fuel-burning devices were built in COMPAS-3D. The study of the combustion process was carried out in the software package ANSYS CFX. The simulation was carried out in stages. The geometry of a solid object is built in the DesignModeler software platform. The calculated grid is selected in the Mesh grid generator. The boundary conditions and main characteristics in CFX-Pre are specified. The solution was obtained in the form of graphs and calculations on the CFX-Solver platform. The results of the calculations are presented graphically and reflect temperature and velocity fields. Natural gas was used as a fuel in this study, and air as an oxidizer.

Key words: computer simulation, burner, ANSYS, combustion, fuel, module.

В настоящее время программные продукты для моделирования различных процессов активно используются в научно-технических организациях и вузах. Актуальным их использование является и изучении теплотехнических процессов, протекающих в металлургических печах.

Горение – наиболее сложный из всех процессов. Его сложность заключается не только в сложнейшем математическом описании процесса, но и в сложности его экспериментального исследования. В связи с важностью процесса горения в технических устройствах в совокупности с дороговизной натурных экспериментов происходит развитие компьютерного моделирование горения.

Целью данной работы является моделирование процесса горения газообразного топлива двух типов горелок: длиннопламенной и короткопламенной, в программном пакете ANSYS.

В процессе подготовки к моделированию процесса горения, были определены конструктивные особенности каждой горелки. Для более объективного анализа полученных результатов принято решение провести моделирование на примере горелок, имеющих одинаковую тепловую мощность, равную 1,5 МВт [1].

Первым этапом необходимо определить геометрические параметры для выбранных типов горелок. В результате расчетов для заданной тепловой мощности были выбраны из длиннопламенных горелок – ДВБ200 и короткопламенных – ГНП7 [1, 2]. По полученным параметрам были построены 3D-модели топливосжигающих устройств в программном пакете КОМПАС–3D (рис. 1 и 2).

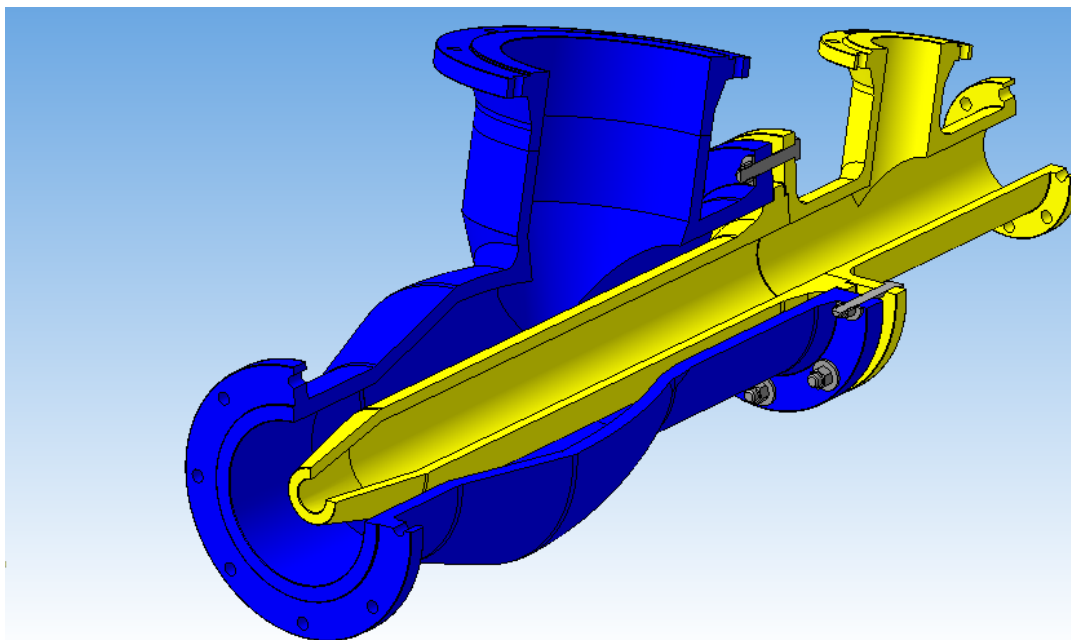


Рис. 1. 3-D модель горелки ДВБ200

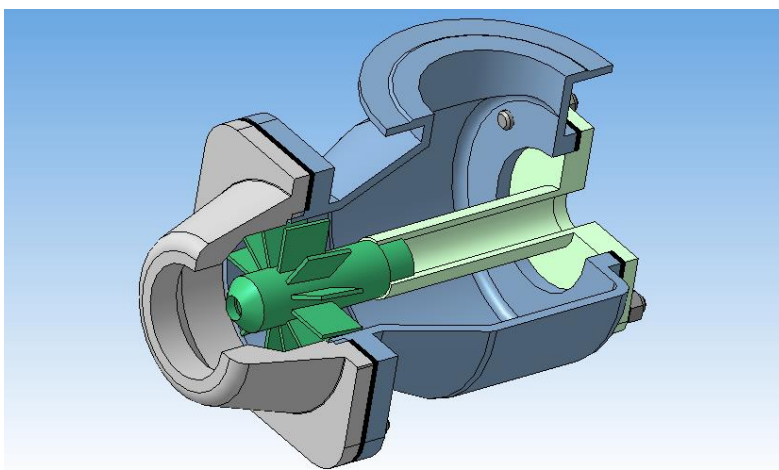


Рис. 2. 3-D модель горелки ГНП7

Для моделирования процесса горения выбран программный пакет ANSYS CFX.

Первым этапом работы в ANSYS CFX является построение геометрии твердотельного объекта. При этом в качестве основы были взяты модели, построенные в КОМПАС–3D, которые затем экспортировали в программную платформу DesignModeler. В работе рассматривалось горение в неограниченном пространстве, то есть факел, который движется в пространстве без учета стенок или значительном удалении от них, при температуре окружающей среды 20 °С.

Перед тем, как импортировать модель в программу ANSYS, необходимо сохранить ее в формате Parasolid (*.x_t), так как модуль ANSYS DesignModeler в своей основе имеет ядро Parasolid [3].

Второй этап – построение расчетной сетки. На основе геометрической модели создается конечно-элементная сетка (КЭ-сетка), с использованием которой выполняется решение уравнений, описывающих физику моделируемого процесса.

Для данных моделей была построена тетраэдральная сетка, представленная на рисунках 3 и 4. Этот тип сетки позволяет достаточно точно аппроксимировать сложную произвольную геометрию изделия, и поэтому часто используется для анализа метода конечных элементов. Сетка была построена в программной платформе Mesh с использованием метода подраздела механики сплошных сред вычислительной газодинамики CFD [4].

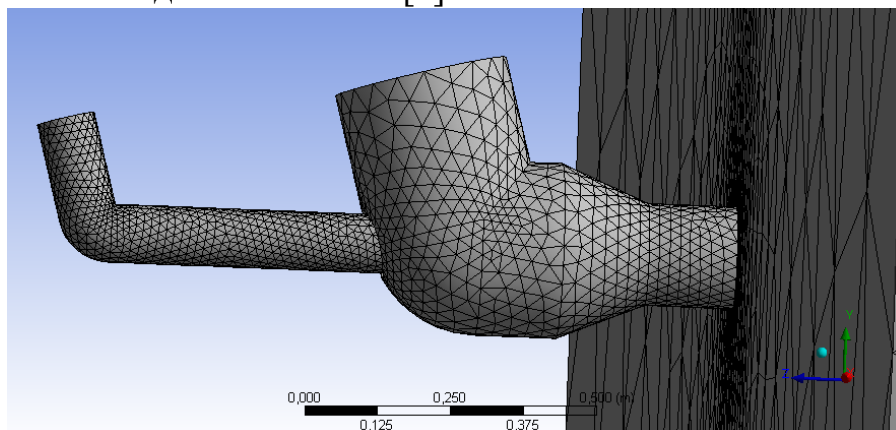


Рис. 3. Построение сетки для модели ДВБ200

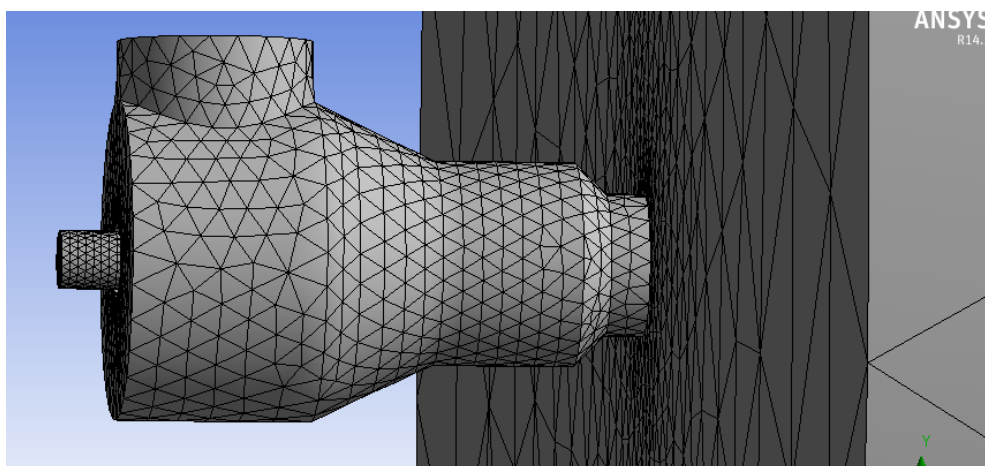


Рис. 4. Построение сетки для ГНП7

CFX-Pre – это следующий шаг постановки задачи, на котором определяются физические модели, на основе которых происходит симуляция процесса, а также их основные параметры и характеристики. Он позволяет определить начальные и граничные условия процесса (входные, выходные параметры), модели теплообмена.

Задание граничных условий (ограничений) – необходимый этап конечно элементного анализа. Число граничных условий для модели должно быть достаточным для расчета распределений всех известных величин.

Для описания горения природного газа была использована «Flamelet» модель. Flamelet-библиотека формируется до начала расчёта с помощью генератора библиотек горения CFX-RIF.

В качестве параметра теплопередачи принята Thermal Energy, которая применяется для низкоскоростных течений, где не учитывается сжимаемость среды. Модель турбулентности - $k-\epsilon$, так как она является более простой и распространенной моделью. Стандартная версия $k-\epsilon$ модели позволяет рассчитать некоторые турбулентные течения с точностью, достаточной для многих инженерных расчётов. Для каждого типа горелок определена модель горения: для ДВБ200 - «PDF Flamelet», а для ГНП7 – «Burner Velocity Model».

«PDF Flamelet» – модель, используемая для описания моделировании диффузионного горения с турбулентным течением при использовании встроенных библиотек.

Модель горения – BVM (Burner Velocity Model) предназначена для предварительного или частичного перемешивания газа и воздуха.

В качестве граничных условий в данной задаче были указаны скорости потоков топлива и окислителя на входе в горелку. Данные о скоростях энергоносителей были получены на основании расчета, при учете характеристик горелок.

Далее пользователь поручает программе решить определяющие уравнения и получить результаты для выбранного вида анализа. В вычислительном отношении это самая интенсивная часть анализа, не нуждающаяся, однако, во вмешательстве пользователя. Она требует самых значительных затрат компьютерного времени и минимальных затрат времени пользователя.

CFX-Solver Manager переупорядочивает расположение элементов и узлов. Результаты можно получить в графическом и расчетном вариантах.

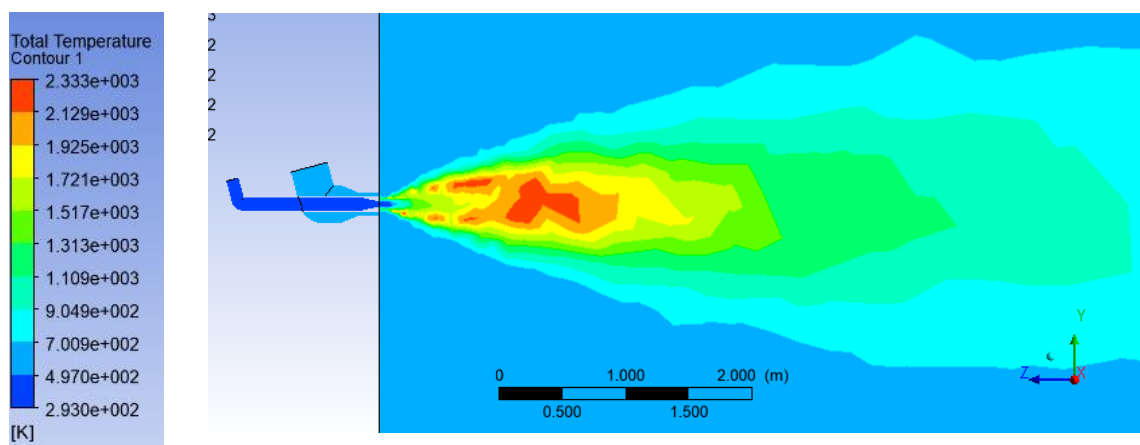
Анализ количественных и качественных результатов, полученных в ANSYS CFX, выполняется в ANSYS CFD-Post. Это платформа, предназначенная для анализа, визуализации и представления результатов, полученных в ходе решения задачи посредством ANSYS CFX-Solver [4, 5].

Таким образом были построены градиенты физических величин, таких как температура (рис. 5) и скорость (рис. 6).

В печах потоки обычно движутся турбулентно и перемешивание осуществляется за счет турбулентной диффузии, в процессе которой переносятся не отдельные молекулы, а турбулентные моли. В этом случае интенсивность образования смеси определяется величиной турбулентной струи, ее скоростью и

длиной пути смешения. Тип горелок ДВБ создан специально для «растянутого» в пространстве процесса горения, поэтому необходим достаточно свободный объем рабочего пространства для завершения процесса горения.

а



б

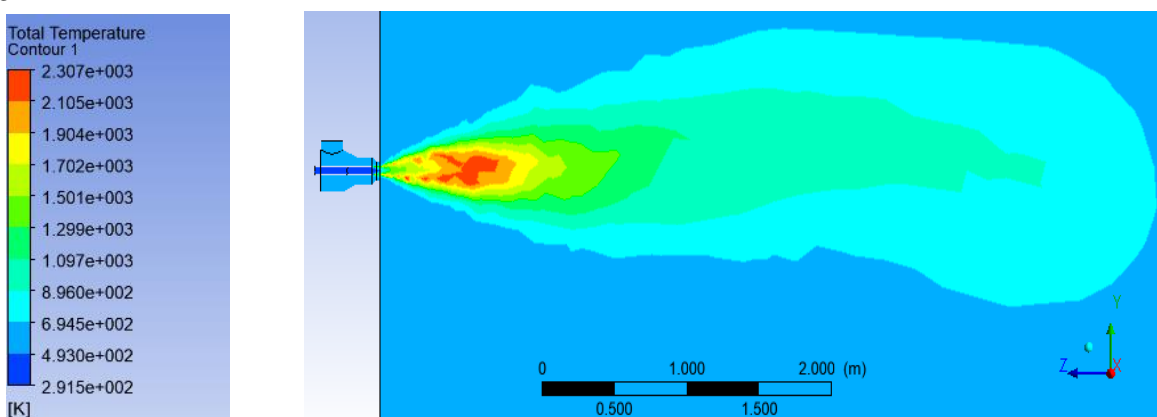


Рис. 5. Температурное поле горелки ДВБ200 (а) и горелки ГНП7 (б)

Конструктивные особенности горелок типа ГНП предполагают частичное перемешивание газа и воздуха в горелке, что обеспечивает сжигание топлива с образованием короткого факела. Это обеспечивается за счет многолопастного завихрителя на пути воздушного потока в корпусе горелки [1].

Температурные поля горения тесно связано с распределением скорости, так как при изменении длины факела распределение температуры также изменяется. Скоростные поля позволяют более наглядно представить влияние конструкции на степень перемешивания и образование длины зоны горения. На рисунке 6 видно, что длина зоны горения в топливосжигающем устройстве ГНП7 меньше (рис. 6, б), приблизительно в 2,5 раза, чем в двухпроводной горелке (рис. 6, а).

Исходя из компьютерного моделирования процесса горения газообразного топлива в горелках типа «труба в трубе» и короткопламенной, можно сказать, что моделирование топливосжигающих устройств адекватно. На рисунках 5 и 6 видно, что факела данных типов горелок соответствуют реальным данным. При компьютерном моделировании можно быстро задать или изменить параметры, также сокращаются сроки исследований, и уменьшаются затраты на проведение исследований в лабораторных условиях.

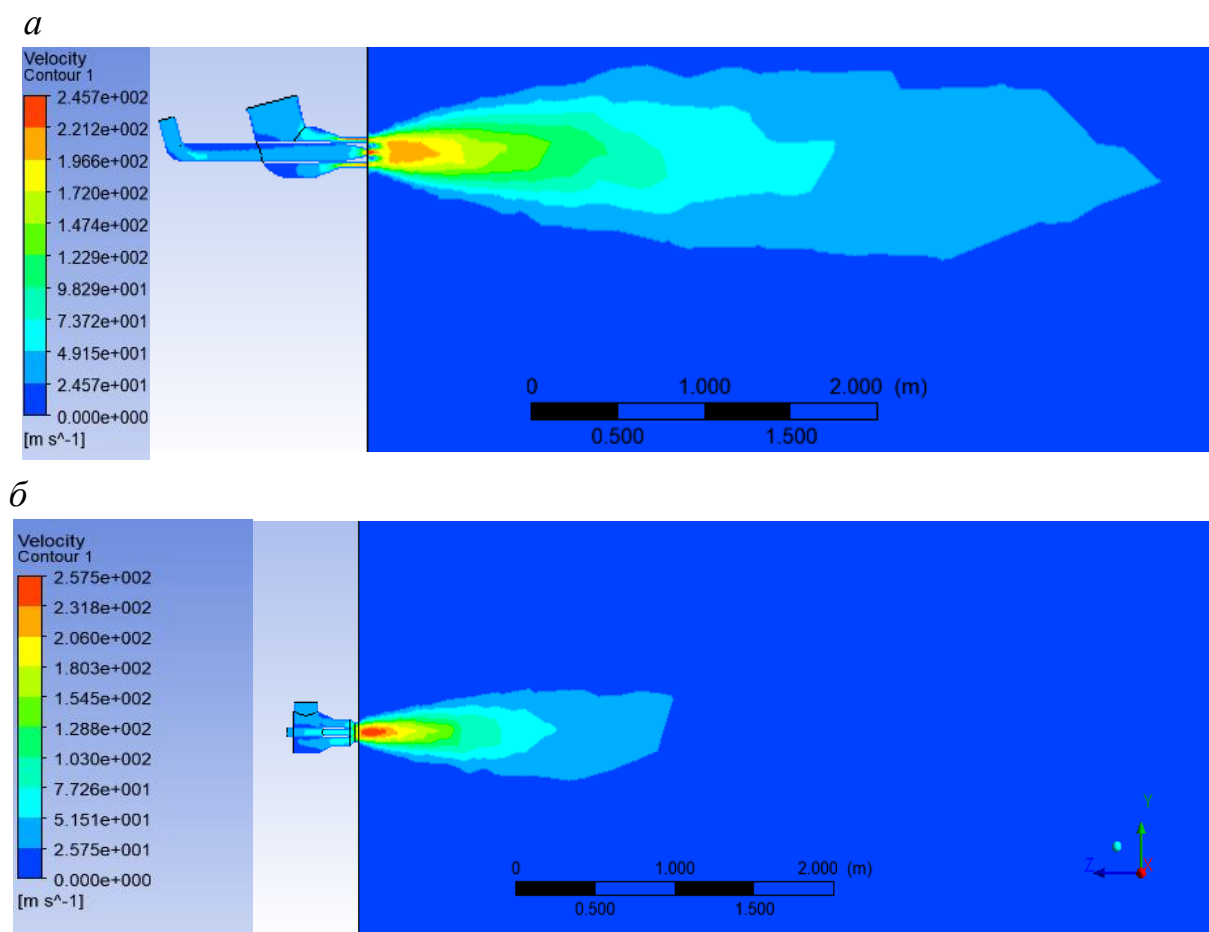


Рис. 6. Поле распределения скорости скорости ДВБ200 (а) и ГНП7 (б)

Результаты моделирования предназначены для понимания процесса горения газообразного топлива и образования факела в двухпроводной и короткопламенной горелках в учебных целях. Также их можно использовать с целью более глубокого исследования процесса горения различных газообразных топлив в разных конструкциях горелочных устройств.

Список использованных источников

1. Теория и практика теплогенерации / Казяев М.Д., Гущин С.Н., Лобанов В.И. [и др.]: учебник для вузов. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 378 с.
2. Металлургические печи: Атлас. Учебное пособие для вузов / В.И. Миткалинный, В.А. Кривандин, В.А. Морозов [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1987. – 384 с.
3. Бруйка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учеб. пособ. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
4. Жидков А.В. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике». Нижний Новгород, 2006. – 115 с.

5. Снегирёв А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 143 с.

УДК 662.76

К. А. Золотухин, Т. Ф. Богатова

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ГТУ

Аннотация

Различные способы повышения эффективности газотурбинных установок (ГТУ) проанализированы в настоящей работе. Рассмотрены возможности повышения экономичности цикла газотурбинных установок. Проанализировано влияние введения промежуточного охлаждения, промежуточного подогрева и регенерации на эффективность газотурбинного цикла. Выполнен анализ эффективности различных циклов. Приведена оценка эффективности работы ГТУ в зависимости от степени повышения давления воздуха в компрессоре. Показано, что высокий КПД газотурбинной установки не гарантирует высокий КПД парогазовых установок (ПГУ); применение промежуточного охлаждения воздуха и подогрева газов позволяет повысить эффективность применения газотурбинных установок в составе ПГУ. Проведен анализ оптимальных значений степени повышения давления, влияние промежуточного подогрева газов и промежуточного охлаждения воздуха. Приведен опыт разработок ГТ с высокой степенью повышения давления.

Ключевые слова: газотурбинная установка; промежуточное охлаждение; промежуточный подогрев; регенерация; КПД; удельная мощность ГТУ.

Abstract

Various ways of increase in efficiency of gas-turbine units (GTU) have been analyzed in this work. The possibilities of increase in performance efficiency of gas-turbine units are considered. Influence of introduction of intercooling, reheating and regeneration on efficiency of a gas-turbine cycle is analyzed. The analysis of efficiency of various cycles is made. Assessment of GTU efficiency depending on increase in pressure ratio of air in the compressor is given. It is shown that the high efficiency of gas-turbine installation does not guarantee the high efficiency of the CCGT; application of intercooling of air and reheating of gases allows to increase the efficiency of GTU application in structure of the CCGT. The analysis of optimum values of pressure ratio and the analysis of influence of intermediate gases heating and intermediate air cooling are carried out. The experience of developments of GT with high pressure ratio is given.

Key words: gas-turbine installation; intercooling; reheating; regeneration; efficiency; specific power of GTU.

Одним из основных направлений повышения КПД ГТУ является повышение начальной температуры газов перед ГТ. Это требует решения вопросов разработки новых материалов и технологий изготовления лопаток, совершенствования систем охлаждения элементов ГТ, внедрения жаропрочных покрытий. В современных ГТУ достигнут температурный уровень 1500 °С (компания Siemens, GE) – 1600 °С (компания МНІ). Анализ показателей